



2007 电声技术国际研讨会

www.ieat2007.com

2007年4月7日至2007年4月8日 广东 深圳

2007年4月10日至2007年4月11日 江苏 南京

扬声器单元工作点与瞬间失真

朱国祥

(1. 作者单位意富音响有限公司, 香港)

摘要 (五号, 宋体加黑, 左起顶格) 扬声器单元因磁场, 音圈位置, 顺性, 电感变化等非线性会导致扬声器振动时中心工作点变化, 从而影响扬声器失真不同频率的不同成分比例变化. 本文将举实例探讨主要影响扬声器工作点的原因, 机制, 与其导致扬声器全音频失真的成分比例的变化随音乐信号不同而不同的情形。

Speaker Driver Operation Point and Instantaneous Distortion

Eric CHU

EAV Audio, Hong Kong

Abstract: Due to magnetic field distribution, voice coil position, compliance and inductance variation, the actual center operation position of speaker driver change constantly; this causes the ratio of different distortion component at different frequency to change dynamically. This paper illustrates the causes, the mechanism and the effect of speaker operation position shift causing the distortion component of all reproduced audio band to change according to the actual content of music reproduced.

Key words: Loudspeaker, Harmonic Distortion, Nonlinearity, Klippel, DC Offset

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号:

引言 (一级编号, 小四, 黑体, 英文和数字用“Times New Roman”, 左起顶格)

传统分析扬声器失真多用正弦波连续或间断扫频看二三次谐波失真随输入频率, 电压变化的情形, 虽所获得资料虽对扬声器开发改良非常有参考价值, 但实际上扬声器振动时, 随着振幅不同, 扬声器失真不同, 而扬声器的振幅又会因为扬声器的工作点变化而不同。本文以利用激光等分析手段测试实际喇叭的实例, 说明扬声器单元的失真成分会随音乐不同而变。

1 扬声器单元工作点与瞬间失真

1.1 扬声器结构非线性导致失真

电动式扬声器的主要失真原因来自其本身结构造成的非线性特性, 如磁回结构, 磁场分布, 音圈长短与位置, 弹波支架与悬边的形状, 大小等。这些结构上的局限, 导致扬声器的失真主要与扬声器的位移有关。(1) (2)

摘要说, 扬声器主要失真来自于磁回磁力因数 BL , 悬吊系统顺性 C_{ms} , 音圈电感量 L_e

无法随着扬声器振幅增加维持恒定所产生。图 1.2.3.是一实际六寸半中低音扬声器单元用 Klippel 动态测出来的 BL, Kms(=1/Cms), Le 随位移变化的曲线。

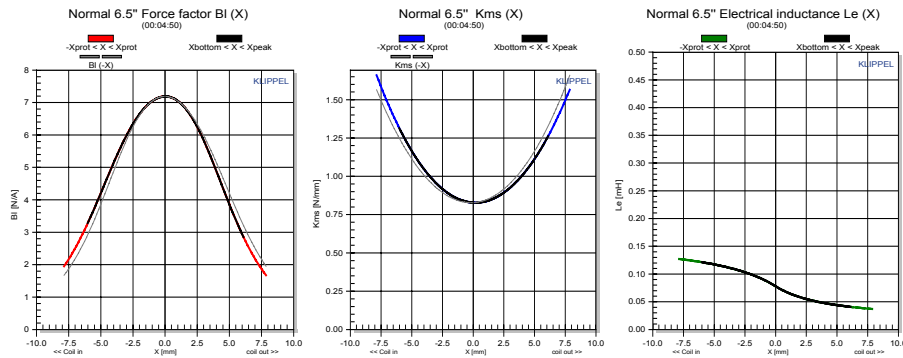


图 1. BL(x)

图 2. Kms(x)

图 3. Le(x)

国际电工委员 (IEC) 会最近发行了关于扬声器大信号参数测量的新标准 PAS62458@IEC:2006, 里面详述了这些变化如何测量与如何限制了扬声器不失真的最大输出。有兴趣的读者可详读该标准。特别值得注意的是音乐是同时好几个频率同时一起发生的, 所以扬声器的振幅是不规则的, 所以被低频影响的高频随振幅产生的失真也是不规则的。

1.2 同样的非线性还导致类直流偏移 - 扬声器工作点的改变

让整个失真问题更加复杂的是扬声器振动时音圈的中心位置会因为同样上述的非线性产生类直流偏移, 让扬声器的工作点也就是上面三图的参考原点, 产生变化, 那我们就原参考点所辛苦设计出的对称性, 在扬声器实际运作时可能并不对称。关于扬声器类直流偏移的发生, 天津真美的管善宁先生在电声技术上有一篇文章 (3) 做了详细地介绍, 这里摘录关于类直流偏移产生机制的部份:

“有2个机理会令位移产生直流成分。

- ① 电气和机械参数非线性里任何不对称性 (部分) 整流交流信号和产生直流成分也产生二阶和高阶失真。如果用一个复合信号来激励换能器, 所产生的直流成分常比任何其它谐波和互调成分失真幅度高许多。其原理是通过整流任何基波直流分量被积聚, 而其它的失真成分分布于全部的频带上。
- ② 有一个完美对称 $BL(X)$ 特性的磁路如果悬吊的刚性非常低并且扬声器在共振频率以上频带运作时可变得不稳定. 在静止位置任何小的干扰将触发直流成分的产生和音圈往 $BL(X)$ 斜面下向最小值滑动 (音圈往磁隙外偏移) 直到悬吊产生足够大的恢复力以停止此过程。”

并摘录该文中关于主要的非线性特性带来的直流位移后果的一览表如下:

非线性种类	激励音的频率			
	$f < F_0$	$f = F_0$	$f > F_0$	$f \gg F_0$
BL(x) (磁路)	移动到 BL(x) 最大	无直流成分	移动音圈远离 BL(x) 最大 (不稳定的)	可忽略
Cms(x) (悬吊)	移动音圈到刚性最小	移动音圈到刚性最小	可忽略	可忽略

Le(x) (磁阻力)	移动音圈到 Le(x)最大	可忽略	移动音圈到 Le(x)最大	移动音圈到 Le(x)最大
----------------	---------------	-----	---------------	------------------

这有助于我们了解下列用激光实测的六寸半喇叭的类直流成分及扬声器工作点变化的结果(图四)。

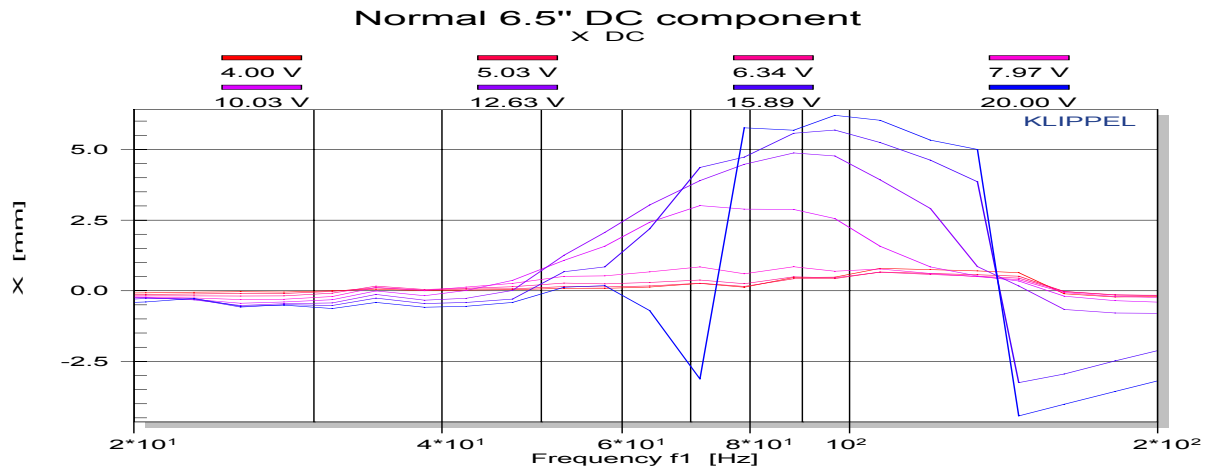


图 4. Xdc(f) 实测六寸半扬声器工作点直流偏移随频率变化的情形

图4中，在Fo(40Hz)以下，扬声器的振动是对称的，工作点几乎没有类直流偏移，在Fo以上，对外的直流偏移开始增加一直80-130Hz频带达5-6毫米，Fo以上类直流偏移主要是往BL极小值走，由于BL曲线相当对称，这就使直流偏移的方向不是很稳定，有时会向下偏。再往高频，电感非线性的影响变大，140Hz以上单元工作点朝电感变大方向直流偏移往下达3-4毫米。

改用一个从低频扫到高频的连续扫描讯号，用激光测量该喇叭的实际振动(图五)，我们可以清楚看到从扫描到80Hz开始直流偏移导致该单元工作点渐渐往上，在扫到120-200Hz时单元的振动大概是+3-+7mm，也就是扬声器在+5mm的工作点来回运动，造成扬声器在200Hz左右的失真跟静态单频正弦波测时完全不同。音乐讯号时不同频率同时激励，同理但更为复杂。

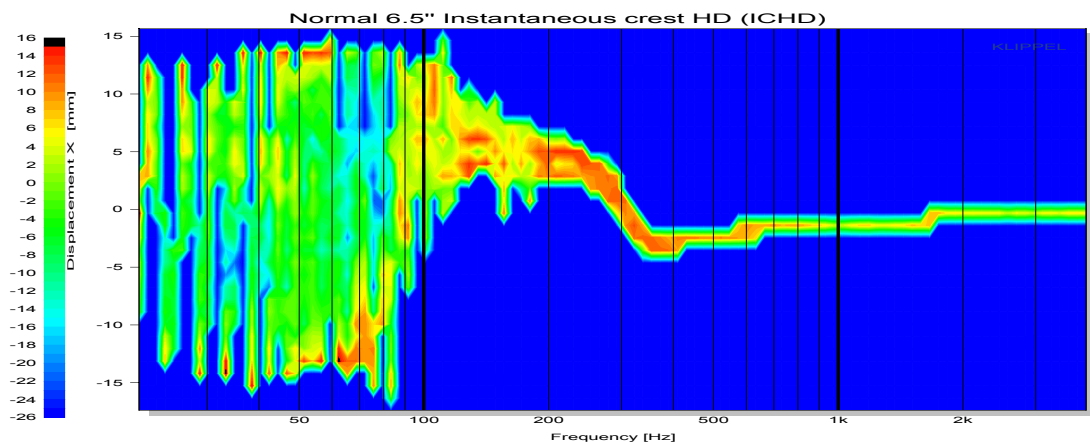


图 5. 实测六寸半扬声器低频往高频扫描激励的振幅
Fig 5. Actual Excursion of 6.5" excited by low to high log sweep

2 结果与讨论

這個例子中我們清楚的看到，這個揚聲器單元，磁場很對稱，音圈也放在正確的位置，懸吊特性也很對稱，就這個結構，這個設計，失真應該是能降到比較理想的狀態了。然後由於非線性的對稱性很好，這個單元主要應該是奇次失真為主。但類直流偏移導致的揚聲器工作點的變化，除了我們在靜態時看到這單元在 $2*F_0$ 附近頻帶 70-140Hz 偶次失真急劇升高，如果用一個低頻掃到高頻的信號，這工作點的變化還會影響到 140Hz 到 300Hz 的失真由原來靜態的很低的奇次失真，產生很大的瞬間偶次失真。更高頻工作點向另一方向變化，由於非線性對稱性良好，看到的只是同樣的偶次失真。實際音樂的頻率成分很複雜，時時在變，就導致了揚聲器單元工作點一直在受不同頻率激勵訊号影响而變化，失真成分也就每瞬間不同。

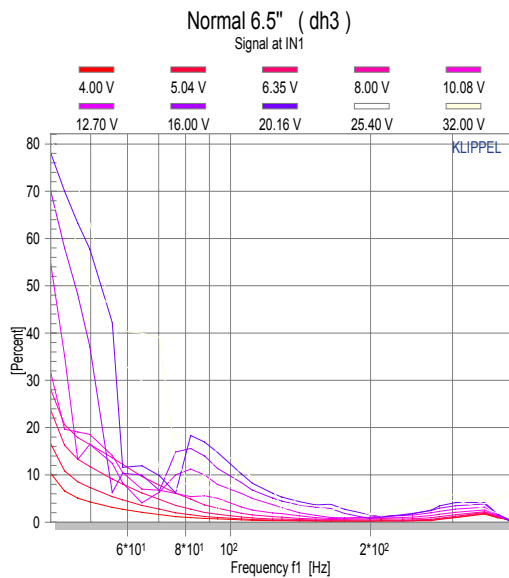


图 6. 三次谐波失真

Fig.6 3rd Harmonic Distortion

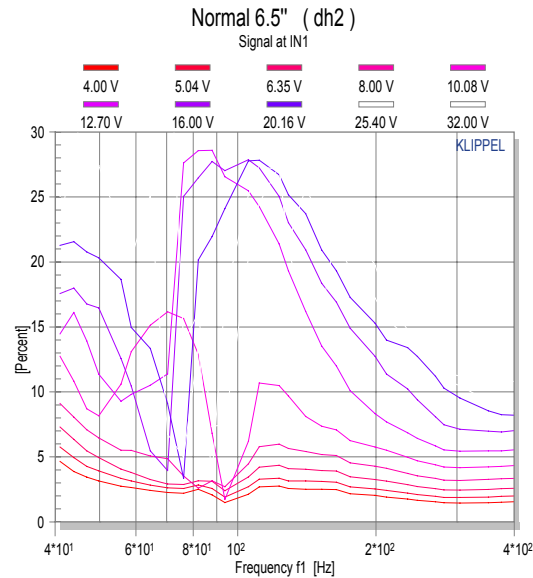


图 7. 二次谐波失真

Fig.7 2nd Harmonic Distortion

3 结论

这个例子用 Klippel 测磁力 BL，悬吊顺性 Cms 的对称性很好，却出现了不该出现的失真。我们用激光看到了在承受功率内扫描时扬声器的振动不对称(很多时候肉眼也看得到)。这个问题可以用扬声器工作点的类直流偏移来解释，并由此我们进一步了解到音乐频谱复杂会导致扬声器工作点不断变化，扬声器失真模式也就每瞬间不同。

类直流偏移一般发生在 $2*F_0-4*F_0$ 的频带，也就是 F_0 30-40 Hz 的低音，信号有 70-120 Hz 会导致扬声器类直流偏移，这正是音乐低频能量主要集中的频带。如果是搭配超低音的卫星喇叭， F_0 在 100-200 Hz，那音乐中有 200-600 Hz 的成分就会激发直流偏移，这正是中频人声集中的频带。如果是 F_0 在 1000-1500 Hz 的高音，那高音能量集中的 2000-6000Hz 也会激发扬声器直流偏移。由此我们可以看出 $2*F_0-4*F_0$ 因是活塞范围，一般设计时都是扬声器主要的工作频宽，也担负着回放音乐最主要部分的工作，无法避开，那直流偏移造成的扬声器失真变化就是扬声器单元在回放音乐时瞬间失真的很重要的部分。

大家都看过医神(House)这影集，如果病人有病住院，不是常规检测测不出问题，病人就没事了，必须利用一些特殊的检测设备，确认生病的真正原因，对症下药，才能药到病除，解决问题。扬声器亦然，希望声音更好听或者解决扬声器发出的一些不正常声音，不是频响阻抗二三次谐波等常规测试没问题，就算了。必须利用较先进的检测分析手段，找出问题的征兆与确实发生原因，对照两者，才能真正解决问题，开发出声音较好，比以往

更大声尺寸更小声音更好的新产品。这里特别要提一下的，很多音频分析仪，都是假设带测物是线性波型不失真特性恒定的系统，如 LMS, MLSSA, Clio, 这样的音频分析仪拿来分析扬声器非线性是有基本缺陷的，详情另外讨论。最后希望本文能引起国内产学研界对非线性问题的重视与进一步研究，扬声器非线性测量刚被纳入 IEC 国际标准，相信很快也会考虑被纳入中国国标。如能对此问题先一步掌握可确保公司技术发展走在最前端。谢谢！

致谢：非常感谢得德国 Klippel 公司与我们共同努力在国内推广非线性特性测量与研究。更非常感谢国内诸多 Klippel 系统的用户他们对非线性问题的认真探讨与大量的实际测量，是促使我们进一步了解非线性问题的支援与动力。也非常感谢大会提供了这么好的学习与交流的机会，向主办单位致敬。

参考文献：（五号，黑体，左起顶格）

参考文献择主要的列出，按先后引用顺序编号。参考文献必须是公开发表的、文中直接引用的，着录项目要齐全。参考文献录入请严格按照下面的格式：

- [1] Klippel 公司，Klippel 技术资料。
- [2] IEC Publication, PAS-62458@IEC2006。
- [3] 管善宁编译. 扬声器直流位移的动态发生 电声技术著者. 篇（题）名[J]. 刊名，出版年，卷号（期号）：
起止页码. **期刊—连续出版物（J）**

作者的联系方式及简历

姓名：朱国祥

详细地址（邮编）：意富音响有限公司深圳办公室 深圳市深南大道 9001 号

电话：+86-（0）-755-2693-8478

E-mail: eav-audio@163.com

简历（100 字以内）：

朱国祥，从事扬声器设计测量等技术工作十余年，率先将 MLSSA, LMS, LEAP, FINECone, FINEMotor, Klippel, DC Motor 等国外优良电声电脑辅助设计及测量系统引进国内。现任职于意富音响有限公司，继续从事技术服务国内国外扬声器厂商，提供全方位测量，诊断，模拟，设计，检验的服务。